

动车所屋面防水与光伏一体化施工研究

丰志广¹ 王亮² 刘军校³ 赵鑫宇⁴ 温欣⁵

1. 中铁二十四局集团有限公司 上海 200092

2. 京津冀城际铁路投资有限公司 北京 100089

3. 京安城际铁路有限公司 北京 101100

4. 中国铁路设计集团有限公司 天津 300300

5. 华能雄安绿色能源有限公司 河北保定 071700

摘要：推进光伏建设是落实国家绿色节能与低碳环保战略的关键环节，亟需深刻理解其健康有序发展的战略价值。作为驱动绿色低碳转型、加速生态文明进程的重要力量，光伏发电也是我国应对全球气候变化、兑现国际承诺的核心手段。实现2030年碳达峰与2060年碳中和的目标时间紧、任务重，亟需加速发展以光伏为代表的可再生能源。目前，光伏技术已在铁路领域广泛应用，覆盖众多车站及沿线设施，实践成效显著，有力支撑了铁路的绿色低碳发展路径。与此同时，屋面防水材料技术不断革新，TPO等新型柔性防水材料在制造业厂房、物流中心、数据中心、机场航站楼等大型建筑屋面的普及率日益提高。然而，传统的固定式光伏支架系统难以适应此类柔性屋面的特性。因此，开发一套适用于柔性防水屋顶、兼具稳定性、可靠性与安全性的新型光伏支架系统，具有迫切的实际需求和重要的工程意义。

关键词：光伏建设；性防水屋面；TPO防水材料；光伏同步建设

一、怀兴城际廊兴段光伏同步建设

1. 充分利用空间，增加光伏面积

廊坊东站、空港新区站以及空港新区动车所，原设计光伏装机容量为4.6兆瓦。结合动车所场地情况，在检修库KST板屋面、南侧边坡、车棚增加光伏板辐射，增加光伏装机量至5.1兆瓦。

2. 光伏同步建设

在动车所内部，利用屋顶资源及排水沟建设分布式光伏电站，并建设光伏车棚，总计新建4310块705W_p光伏组件，年均发电量321万kWh，总发电量8018万kWh。动车所光伏系统建成后预计每年可节约标准煤约978吨，每年可减排二氧化碳约2668吨，项目在能源结构优化和参与环境保护方面迈出了重要一步。

二、现状调查

动车所检修库屋面材料为预制KST板，屋面防水做法为：找平层为20mm厚水泥砂浆（配比1：3），防水层为1.5mm厚高分子防水涂料和4mm厚SBS防水卷材组成的复合防水层，屋面保护层为20mm厚水泥砂浆（配比1：3）。根据以往动车所项目KST屋面板及板面上光伏节点出现渗漏的情况进行调查，屋面预留光伏支架立柱施工复杂，屋面防水破坏点较多，且屋面防水节点施工周

期长，防水节点处理不当和屋面板平整度缺陷是影响影响整个屋面抗渗防漏的主要原因，是施工质量控制的重点把控环节。

三、方案优化

原设计屋面防水层采用传统SBS改性沥青防水卷材覆盖保护层，一旦发生渗漏，不易查找渗漏点，并且维护修复前需先破除保护层，费时费力。同时20mm水泥砂浆护层易开裂。检修库屋面采用钢边框轻型屋面板，结合板跨和荷载，优化光伏板支座布置，优化支座连接节点做法，尽量做到对防水影响最小。

1. TPO屋顶光伏支架系统构造

由于TPO防水材料为柔性材料，不能按常规的配重式基础或专用夹具安装，预埋件式屋顶支架系统形式。屋顶安装时预留光伏支架立柱，在房屋建筑设计时统一考虑预留荷载，且根据光伏组件和屋面采光窗、通风等设布置形式相结合，预留光伏支架立柱，传力更加可靠。在光伏支座的上部防水附加层处增设不锈钢金属箍及用密封胶进行固定，起到更好密闭及固定作用，进而提高防水抗渗合格率。

2. 屋面防水构造

将做法进行优化设计：用东方雨虹TPO单层屋面系

统。用1.5mm厚复合TPO高分子防水卷材满粘在找平层上,卷材直接外露使用。将20mm厚找平层和20mm厚保护层,合并作为40mm刚性防水层。下层为刚性防水层:厚度40mm厚P6抗渗细石混凝土,并内配 $\Phi 4@110$ 双向钢筋网,防止开裂。上层为卷材防水层:满粘东方雨虹1.5mm厚TPO防水卷材。

四、方案实施

施工方案稳定后,项目部成立防水QC小组,重点控制KST屋面板及板面上光伏节点防水施工质量。定人定责从技能培训、施工操作、工序质量、施工安全等方面进行把握,坚持执行质量不合格坚决返工。各技术人员负责组织协调施工,监控质量问题,落实具体做法。

1.TPO屋顶参数收集及相关试验

通过收集建筑物相关图纸、资料,确定屋面防水材料的相关参数(H类、P类、L类)、物理性能(最大拉力、伸长率、剥离强度等参数)、连接构造(机械连接或满粘连接)等相关参数,并委托专业实验室进行现场复核试验和剥离强度试验。TPO卷材特点如下:(1)耐久年限长,为30年。(2)抗裂性能好,复合TPO防水卷材有超过250%的断裂延伸率,可以很好地适应基层振动变形,避免零延伸断裂和空鼓产生。(3)满足台风区域抗风揭性能,TPO卷材采用高分子胶粘剂与基层粘接,产品执行JC/T863-2011《高分子防水卷材胶粘剂》要求,粘结力最小为2.5MPa,卷材要求的抗风揭性能在台风区的等级1-240PSF等级的压强也才为11.5Kpa,粘结力远远大于台区的抗风揭要求。(4)暴露使用耐久性强TPO防水卷材生产过程中不含增塑剂,不会产生增塑剂迁移而使卷材变脆的现象,优异的抗紫外线、耐老化性可使卷材长期暴露使用且保持良好的防水功能。(5)细部节点处理灵活均质TPO卷材加热后能加工成任意的形状,细部节点处理容易。

2.TPO防水卷材施工工艺流程与关键节点处理要点

施工遵循以下核心流程:基层处理→TPO卷材铺设与粘接→热风焊接→细部节点强化处理。

(1)基层处理

①施工前已完成基层验收,确保符合TPO卷材铺设要求。

②铺设前彻底清除基层表面的碎屑及异物。

(2)卷材铺设与固定

①定位与预铺:首先进行放线,将卷材自然疏松地按轮廓预铺于基层,保证平整顺直。

②搭接要求:长边搭接宽度120mm,短边搭接宽度

80mm。固定螺钉距卷材边缘30mm。

③应力释放:卷材铺开静置15~30分钟,充分释放内应力,防止焊接起皱。

④相邻卷材铺设:沿长向形成120mm搭接区,此区域用于后续热风焊接(焊接宽度 ≥ 25 mm)。

⑤加强固定:屋面周边、角部固定件加密,增强抗风揭能力。天窗、变形缝及直径 >500 mm出屋面管道等处,使用垫片或压条固定卷材。

(3)热风焊接

①设备选择:采用自动热空气焊接机、爬行焊机或手持焊机,配合硅酮辊进行焊接。

②焊接操作:设备预热5~10分钟至工作温度。确保长边机械固定搭接宽度 ≥ 120 mm,焊接宽度 ≥ 25 mm。将自动焊机就位于接缝起点,手指导向与机器行进方向一致。抬起搭接边,插入焊机喷嘴后立即匀速移动机器,避免烧损卷材。操作中确保导向轮对准上片卷材边缘,并预留足够电缆长度。接缝相交处用硅酮辊滚压,保证焊缝连续性。注意多层卷材厚度差异可能导致假焊,需特别留意。焊后立即移开喷嘴,避免烫伤卷材。焊接区须平整无皱褶,搭接区皱褶需切除。自动焊机启停区域,使用手持焊机补焊。

③T型接头处理:优化卷材排布,避免十字缝,尽量形成直缝或T型接头三层卷材搭接形成T型接头时:对接头区域15cm范围进行切削处理(使用修边刀),形成斜面消除高度差并清洁结合面。裁剪直径 ≥ 15 cm的圆形TPO补丁片,点焊固定于T型接头处,再满焊四周。

④阴阳角处理:使用同质TPO卷材在三面阴阳角等部位做附加层。按形状裁剪卷材,热风塑形后贴合节点,再用热风焊枪与大面卷材焊接牢固。

(4)光伏支座专项节点处理

①定制化方案:鉴于现场成型圆弧状卷材难度大、质量难控,经论证决定由厂家按深化图开模定制支座专用TPO卷材构件,确保尺寸精准,减少现场裁剪焊接。

②双层焊接密封:内层卷材与大面卷材搭接100mm(平面)、200mm(立面)形成环形搭接,满焊。外层(盖帽形)卷材在顶部与内层卷材过渡搭接焊接,再与大面卷材形成环形搭接并满焊,实现双层防护。此关键工序需旁站监督,严格检查焊缝质量。

③上端密封:支座卷材顶端采用内置橡胶垫圈的不锈钢箍箍紧,并用耐候密封胶封堵密实。

④防雨结构:支座钢板上部四周焊接角钢形成防雨框,重点检查收口密封及焊缝饱满度,杜绝顶部渗

水隐患。

⑤质量验证：使用渗漏真空仪对所有光伏支座立柱进行防水密闭性检测，不合格点必须返工直至全部达标。

3.TPO卷材施工工艺

(1)施工前，对屋面防水基层进行验收，确保基层满足TPO防水卷材的铺设要求。与基层采用满粘法施工TPO采用满粘工法施工，满粘工法是比较成熟的一种工法，广泛用于单层屋面防水项目。满粘法是用专用的胶粘剂把高分子TPO复合防水卷材粘结在基层上，抵御风揭及雨水作用。根据《单层防水卷材屋面工程技术规程》(JGJ316-2013)表5.5.2防水卷材及相应施工方法，可知背面复合无纺布的复合TPO防水卷材是满粘工法适合的卷材。适用于本工程在基层满粘施工。

(2)卷材之间采用焊接TPO搭接缝采用热风焊接，施工搭接工艺简单，可靠性极高，焊缝处强度高于TPO卷材本身，确保搭接缝滴水不漏。

(3)TPO卷材采用高分子胶粘剂与基层粘接，产品执行JC/T863-2011《高分子防水卷材胶粘剂》要求，粘结力最小为2.5MPa，卷材要求的抗风揭性能在台风区的等级1-240PSF等级的压强也才为11.5Kpa，粘结力远远大于台风区的抗风揭要求。

(4)对TPO卷材在光伏支座上的固定进行优化，在上部防水附加层处增设不锈钢金属箍及用密封胶进行固定，可以有效增加TPO卷材的防水合格率。

4.对操作人员进行技能培训考核及技术交底

认真学习防水施工的技术要求和质量要求，把质量管理程序落实到人；加强对操作层的培训，组织各工种的班组长学习防水施工技术要求，明确各部职责和作业顺序。大面积施工前组织现场施作样板段，确立工序质量卡控标准，使工人知道怎么干，班组长知道怎么管，管理人员知道验。施工过程中严格监控现场施工，避免出现不按要求的情况。管理人员全程跟班作业严格盯控，确保严格遵守施工规范，把控每一个施工工艺流程，避免材料在施工过程中破损从而导致防水效果不佳。开展工地夜校，组织技术、质量安全大讲堂，对全体管理和作业人员进行培训。

五、成品保护、检测验收等质量管理

1.成品保护措施

(1)保护措施落实：防水施工完毕后，须将成品保护作为关键控制环节，确保各项保护方案有效实施。

(2)现场清理：彻底清除屋面上遗留的所有剩余材料及建筑垃圾，保持作业面整洁。

(3)禁止行为：①禁止人员穿着带钉鞋具在TPO卷材屋面上行走；②严禁在屋面吸烟及丢弃烟头；③禁止堆放金属物品或尖锐物体；④禁止拖拽硬物，以防破坏防水卷材。

(4)工序防护：进行光伏系统或避雷装置安装时，必须在卷材表面铺垫木板加以保护。接地扁钢焊接作业时，需在焊点下方铺垫不燃岩棉，隔绝焊渣，防止烫损卷材

2.检测和资料整理

(1)实体检测：施工后，采用探针针对屋面防水卷材所有焊缝进行全数检测，并使用渗漏真空仪检测光伏立柱，形成并归档焊缝检测记录。(2)密闭性验证：执行淋水试验或在持续中到大雨期间观察，确保无渗漏现象，形成淋水试验报告及雨水观察记录。(3)正式验收与归档：组织相关参建单位对屋面防水分部工程进行验收。依据规范要求，整理汇总施工过程资料、各项检测报告(含焊缝、淋水/雨水)、隐蔽工程影像资料等，完成屋面防水工程质量验收资料的归档手续。

结语

在本防水工程施工全程严格遵循设计图纸、节点深化方案、规范标准及专项施工方案要求，实施动态质量监管，确保材料品质可靠、技术措施得当、施工质量管控到位。屋面TPO防水层及光伏系统安装完成后，历经多次强降雨考验，迄今未发现渗漏问题，实现了一级防水等级目标。工程质量获得站段方肯定，为动车所如期顺利开通提供了坚实保障。

参考文献

- [1]卢婷婷.防水保温与光伏发电合二为一的BAPV屋面安装实例[J].中国建筑防水,2023(5):24-28.
- [2]孙荣喜,李晓伟,王鑫.等.“丁基自粘TPO卷材+柔性光伏组件”方案在既有轻荷载屋面改造中的应用[J].中国建筑防水,2023(12):16-21.
- [3]吴玉勇.长沙博世屋顶分布式光伏发电系统设计与施工[J].中国建筑防水,2023(3):21-25.
- [4]周芸.TPO屋顶分布式光伏安装设计要点分析[J].机电信息,2019(35):153-155.